

## **Литература**

1. Отчет об оценке влияния засух на сельскохозяйственный сектор и питьевой воды в Республике Каракалпакистан и Хорезмской области. Мамадвалиев Т, Гаипназаров Н, Зунунова Г. Всемирный банк, 2001 год.
2. Беседин П.Н, Юлдашев Г. Изменения состава поглощенных оснований под влиянием поливов минерализованной водой. Труды СоюзНИИХИ, выпуск 38 1977 г.
3. Умбетаев И. Влияния полива хлопчатника дренажными водами на солевой состав почвы и урожай хлопка-сырца в условиях Голодной степи. Труды СоюзНИИХИ, выпуск 38 1977 г.
4. Беспалов Н.Ф, Шуравлин А.В, Афанасьев В.П. Допустимая минерализация поливной воды для орошения хлопчатника в старой зоне орошения Голодной степи. Труды СоюзНИИХИ, выпуск 38 1977 г.
5. Тураханов Н. Солевой режим почвы в зависимости от минерализации поливной воды и доз удобрений. Труды СоюзНИИХИ, выпуск 45 1980 г.
6. Руководство по использованию дренажных вод на орошения сельскохозяйственных культур и промывки засоленных земель. САНИИРИ, 1986г.

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИРРИГАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БАССЕЙНА РЕКИ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

**Ш.Х. Рахимов, З.М. Ибрагимов**

**САНИИРИ им. В.Д. Журина**

На территории государств Центральной Азии издревле сложилась система совместного пользования водными ресурсами бассейнов двух крупнейших рек региона - Сырдарья и Амударья, которые берут свое начало соответственно на территории Кыргызстана и Таджикистана. Пересекая территории соседних государств (Сырдарья – Узбекистан, Таджикистан и Казахстан, Амударья – Узбекистан, Таджикистан, Туркменистан и по границе Афганистана), они впадают в Аральское море. С помощью сложных комплексов гидротехнических сооружений достигалась высокая степень зарегулированности стока реки, в результате чего удовлетворялись интересы и потребности в воде всех народов региона для обеспечения нормальных условий их жизнедеятельности.

До распада Советского Союза осуществлялось регулирование вод бассейнов рек, согласованное между соседними среднеазиатскими республиками, так, чтобы в период вегетации поступало достаточное количество воды на орошаемые земли, а в межвегетационный период вода сбрасывалась на выработку электроэнергии при компенсации топливным эквивалентом Республиками Казахстан и Узбекистан кыргызской стороне её потерь от недовыработки электроэнергии. После распада СССР, прекратила своё существование ранее действовавшая схема водораспределения между ее бывшими республиками.

Наиболее острый характер противоречия между гидроэнергетикой и ирригацией приобрели в бассейне Сырдарья из-за нарушений проектных функций Токтогульского гидроузла. Для удовлетворения потребности Кыргызской Республики в электроэнергии зимой, Токтогульское водохранилище, являющееся основным регулятором бассейна реки Сырдарья, изменило режим работы с ирригационного на преимущественно энергетический. С переходом режима работы водохранилища на энергетический, резко изменилась вся водохозяйственная обстановка в бассейне реки Сырдарья. Высокая степень использования водных ресурсов вместе с изменением режима реки повлекли за собой серьезные осложнения в бассейне реки Сырдарья, как в зимний, так и в летние периоды, которые охватывают широкий комплекс взаимосвязанных проблем: в межвегетационный период увеличились сбросы воды для выработки электроэнергии зимой, а вегетационный период наоборот – объем сбросов снизился в целях аккумуляции воды для последующего сброса её зимой. Вследствие этого, нижерасположенные орошаемые земли не получали достаточного количества воды (особенно ощутимо это проявлялось в маловодные годы), в то время как в межвегетационный период они могли оказаться под

угрозой затопления, что тоже крайне вредно для них. Нижерасположенные водохранилища (Кайрак-кумское, Чардаринское) были не в состоянии принять повышенные попуски Токтогульского водохранилища в межвегетационный период и, в целях предотвращения затопления низовой реки Сырдарья, ежегодно стали осуществляться сбросы воды в Арнасайское понижение. Объем вынужденных сбросов в отдельные годы составил более  $8,0 \text{ км}^3$ , а в настоящее время объем его наполнения увеличился до  $27,0 \text{ км}^3$ .

В бассейне реки Амударья подобные вопросы пока не приобрели такую же остроту, как в бассейне реки Сырдарья, но и здесь при работе Нурекского водохранилища в энергетическом режиме (когда водохранилище за межвегетацию практически срабатывается, а в вегетацию наполняется снова), ниже по течению реки Амударья требуется компенсационное ирригационное регулирование. Основная нагрузка приходится на водохранилища Тюямуонского гидроузла, который является замыкающим в Вахско-Амударьинском каскаде и работает в низовьях реки Амударья.

Одна из особенностей регулирования стока в среднем течении реки Амударья – наличие наливных внутрисистемных водохранилищ (Талимарджанское, Туракульское, Куюмазарское и др.) сезонного цикла, работающих в режиме контррегулирования для ирригационных целей.

В бассейне реки Сырдарья таких контррегуляторов нет. Здесь главная роль отводится Токтогульскому гидроузлу, на который приходится около половины регулирующих емкостей бассейна. Однако, тенденция к созданию ирригационных контррегуляторов для бассейна Сырдарья в последние годы просматривается. На основании вышеизложенного видно, что в настоящее время перед государствами Центральной Азии стоит проблема выбора оптимальных ирригационно-энергетических режимов бассейнов рек Амударья и Сырдарья. Поэтому возникает необходимость разработки критериев и математических моделей этих режимов и реализующих их алгоритмы и программы, которые обеспечат компромисс между ирригацией и энергетикой при водораспределении в вегетационный и межвегетационный периоды.

На основании данных Кыргызэнерго (Кыргызская Республика) за 1991-2001 годы построены диаграммы параметров Токтогульского водохранилища по периодам (вегетационный и межвегетационный) (рис. 1), и их графики по месяцам за 2000-2001 гг. (рис. 2).

### Критерий ирригационно-энергетических режимов бассейна реки

Существует множество требований к водохозяйственным объектам бассейнов рек, на основании которых разрабатываются критерии определения их ирригационно-энергетических режимов. Такими являются минимизация расходов на водозабор для целей ирригации

$$I_1 = C_1 W_{\text{взир}}^k \Rightarrow \min, \quad (1)$$

и минимизация расходов на выработку электроэнергии

$$I_2 = C_2 \mathcal{E}_i^k \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $W_{\text{взир}}^k$  - объем водозабора из  $i$ -го водохранилища в период  $k$ ,  $\text{км}^3$ ;

$\mathcal{E}_i^k$  - выработанная электроэнергия на  $i$ -ом водохранилище в период  $k$ , кВтч.

$C_1$  и  $C_2$  – соответственно, весовые коэффициенты на мероприятия по водозабору для ирригационных целей и на выработку электроэнергии.

Технологическим требованием к данным объектам является то, что фактический объем водозабора на орошение должен максимально отвечать его заданному значению, т.е. отклонение фактической величины от требуемой должно сводиться к минимуму:

$$W_{\text{взир}}^k - W_{\text{взир}}^{kз} \Rightarrow \min \quad (3)$$

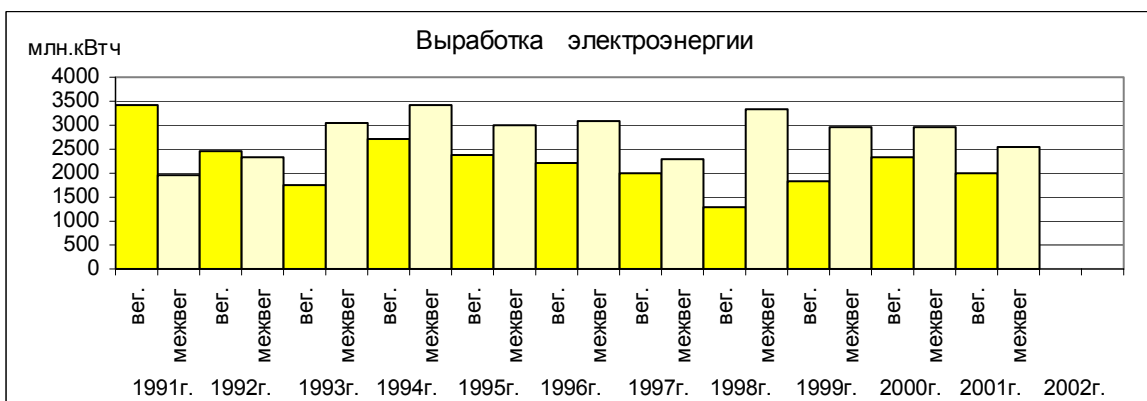
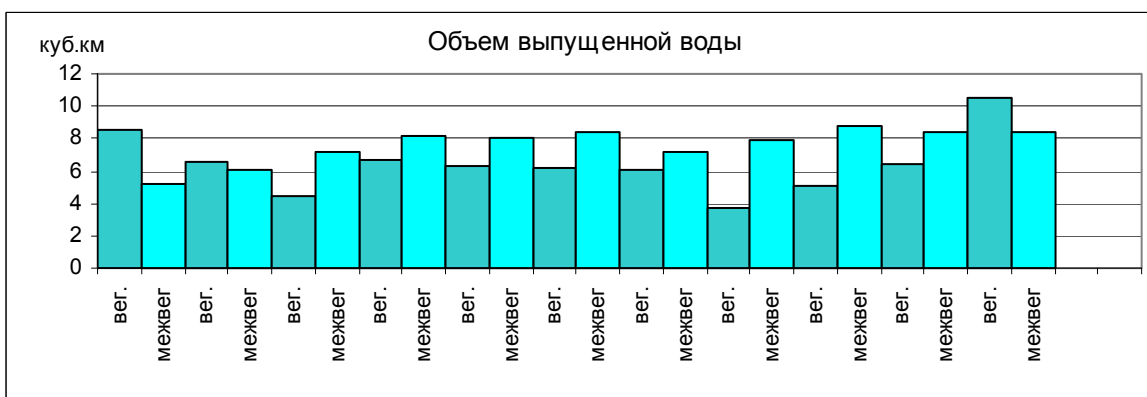
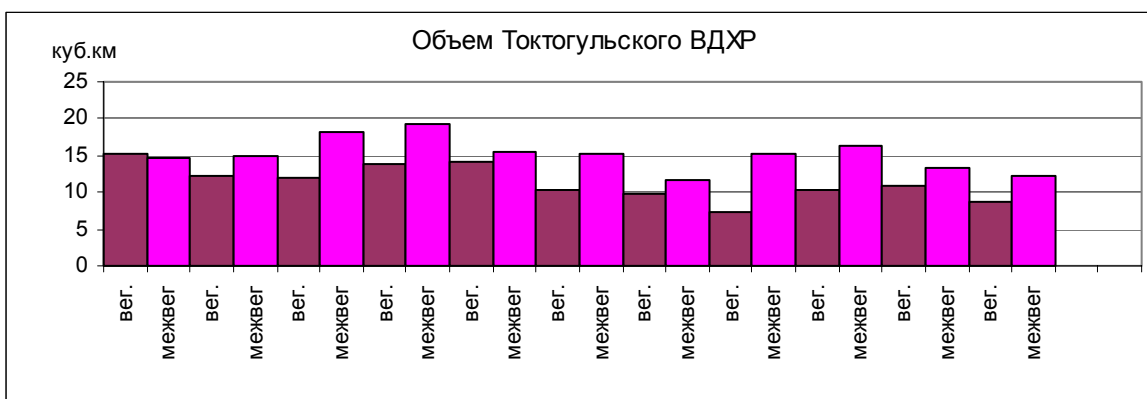
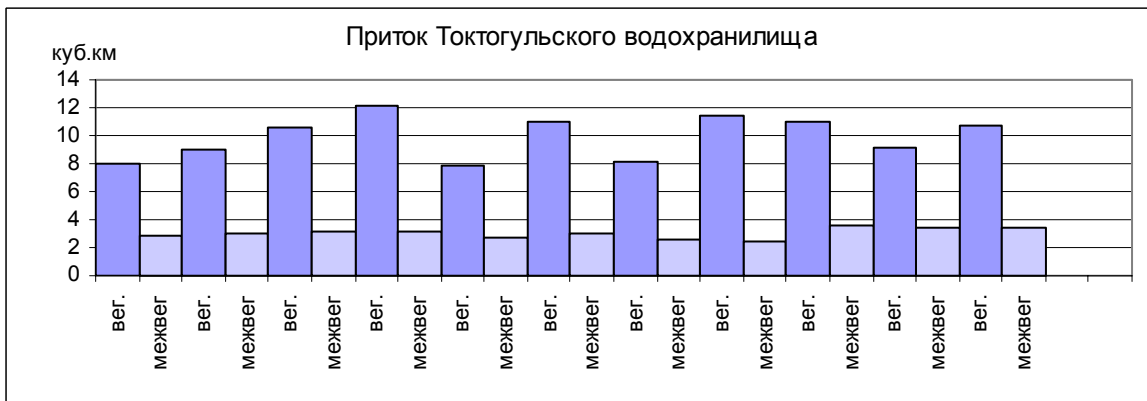


Рис. 1  
 Диаграммы изменения параметров Токтогульского водохранилища за период 1991-2001 гг.

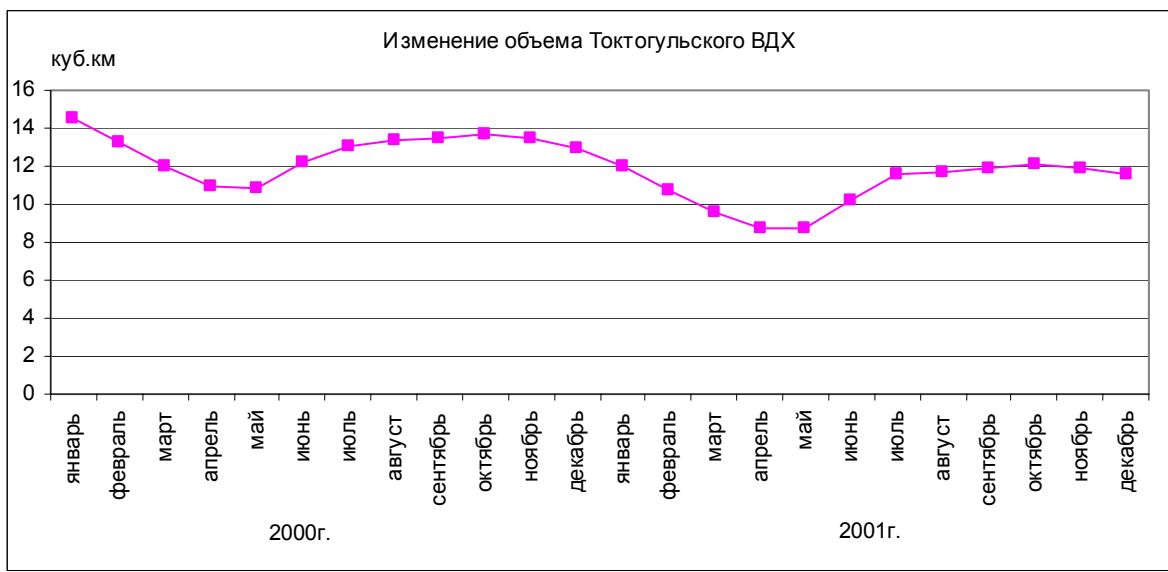
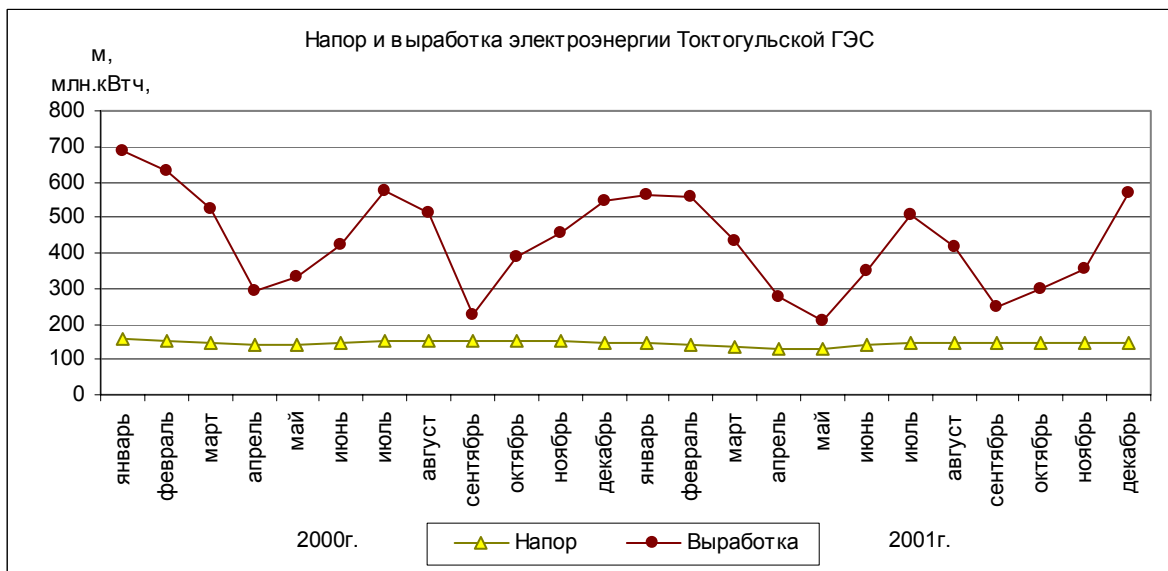
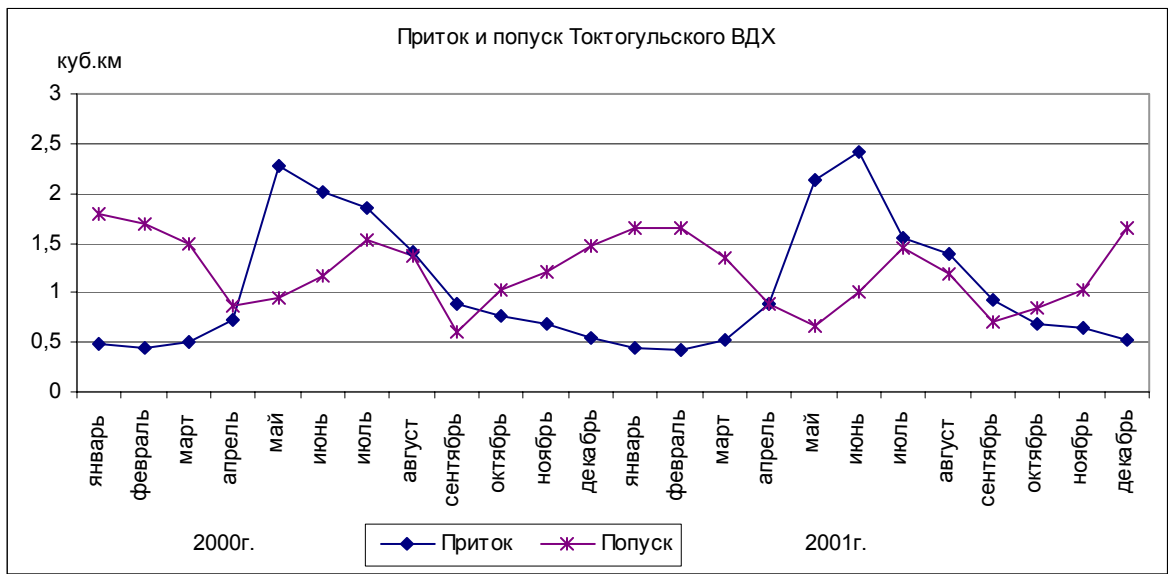


Рис. 2  
Графики параметров Токтогульского водохранилища

Аналогично, фактическая величина выработки электроэнергии должна максимально приближаться к ее заданному значению:

$$\mathcal{E}_i^k - \mathcal{E}_i^{k3} \Rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $W_{i\text{взир}}^{k3}$  - заданный объем водозабора на ирригацию из  $i$ -го водохранилища в период  $k$ , км<sup>3</sup>;

$\mathcal{E}_i^{k3}$  - задание на выработку электроэнергии на  $i$ -ом водохранилище в период  $k$ , кВтч;

На основе вышеприведенных выражений разработан основной критерий для определения ирригационно-энергетического режима бассейна реки.

$$I = \sum_{k=1}^n \left\{ \left( \mathcal{E}_i^k - \mathcal{E}_i^{k3} \right)^2 k_1 + k_2 \left[ \left( W_{i\text{вз}}^k - W_{i\text{вз}}^{k3} \right)^2 + \left( W_{i\text{взир}}^k - W_{i\text{взир}}^{k3} \right)^2 \right] \right\} \Rightarrow \min \quad (5)$$

где  $W_{i\text{вз}}^{k3}$  - заданный объем водозабора из водохранилища, км<sup>3</sup>;

$W_{i\text{вз}}^k$  - фактический объем водозабора из водохранилища на ирригацию, заданный, км<sup>3</sup>.

#### Постановка задачи моделирования ирригационно-энергетических режимов бассейна реки

В качестве математической модели водохранилища на реке принимаем балансовое уравнение его водных ресурсов:

$$W^{k+1} - W^k = W_{np}^k - W_{\text{вз}}^k - W_{\text{ном}}^k - W_{\text{нон}}^k \quad (6)$$

$$W^{\text{нач}} = W_0, \quad (7)$$

где  $W^k, W^{k+1}$  - объем Токтогульского водохранилища в данный и последующий периоды, соответственно, км<sup>3</sup>;

$W_{np}^k$  - объем притока в водохранилище, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{вз}}^k$  - объем водозабора из водохранилища, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{ном}}^k$  - потери водохранилища, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{нон}}^k$  - попуск из водохранилища, км<sup>3</sup>;

$W^{\text{нач}}, W_0$  - объем водохранилища в начале расчетного периода и начальный объем, соответственно, км<sup>3</sup>.

Общий попуск воды через водохранилище будет

$$W_{\text{нон}}^k = W_{\text{снон}}^k + W_{\text{нонГЭС}}^k, \quad (8)$$

где  $W_{\text{нонГЭС}}^k$  - попуск воды через ГЭС водохранилища, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{снон}}^k$  - санитарный попуск через водохранилище, км<sup>3</sup>;

в то же время попуск через ГЭС подразделяется на попуски для ирригации и для выработки электроэнергии:

$$W_{\text{nonГЭС}}^k = W_{\text{взир}}^k + W_{\text{сбГЭС}}^k, \quad (9)$$

где  $W_{\text{взир}}^k$  и  $W_{\text{сбГЭС}}^k$  - соответственно, объем сброса воды из водохранилища на ирригационные нужды и на выработку электроэнергии.

Электроэнергия, выработанная через данную ГЭС, равняется

$$\mathcal{E}^k = k_{\mathcal{E}} \cdot W_{\text{nonГЭС}}^k, \quad (10)$$

где  $\mathcal{E}^k$  - выработанная электроэнергия, млн.кВтч;

$k_{\mathcal{E}}$  – весовой коэффициент электроэнергии.

Задания на требуемые значения:

$$\mathcal{E}^{k3} = \mathcal{E}^k \quad (11)$$

$$W_{\text{взир}}^{k3} = W_{\text{взир}}^k \quad (12)$$

$$W_{\text{сб}}^{k3} = W_{\text{сб}}^k, \quad (13)$$

где  $\mathcal{E}_3^k$  - задание на выработку электроэнергии, млн.кВтч;

$W_{\text{взир}}^{k3}$  - задание на водозабор из водохранилища на ирригацию, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{сб}}^{k3}$  - задание на водозабор из водохранилища, км<sup>3</sup>;

Ограничения на технологические параметры водохранилища:

$$W^{\min} \leq W^k \leq W^{\max} \quad (14)$$

$$W_{\text{сноп}}^k \geq W_{\text{сноп}}^{\text{mp}}; \quad (15)$$

$$W_{\text{сбГЭС}}^k \geq W_{\text{сбГЭС}}^{\text{mp}} \quad (16)$$

где  $W^{\min}$ ,  $W^{\max}$  - соответственно, минимальный и максимальный объемы водохранилища, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{сноп}}^{\text{mp}}$ ,  $W_{\text{сбГЭС}}^{\text{mp}}$  - соответственно, требуемые объемы на санитарный попуск из водохранилища и на сброс воды через ГЭС, км<sup>3</sup>.

Постановка задачи моделирования водно-энергетического режима бассейна реки состоит из выбранной математической модели (6), (7) с соответствующими ограничениями (14)-(16) и критерия ирригационно-энергетического режима бассейна реки (5).

Таблица 1. Фактические данные и данные моделирования по Токтогульскому водохранилищу за период 1991-2001 гг.

№ п/п	Наименование	Ед. изм	1991		1992		1993		1994		1995	
			вег.	межвег	вег.	межвег	вег.	межвег	вег.	межвег	вег.	межвег
1	Приток	куб.км	7,93	2,826	9,05	3,006	10,61	3,095	12,08	3,082	7,88	2,758
2	Напор	м	165	155	152	158	163	172	167	170	153	152
3	Объем ВДХР	куб.км	15,102	14,693	12,322	14,837	11,831	18,111	13,976	19,339	14,2	15,6
4	Объем вып. воды	куб.км	8,51	5,197	6,55	6,012	4,41	7,228	6,72	8,211	6,33	8,084
5	Выработка э/э	млн.кВт.ч	3425	1958	2438	2324	1754	3042	2721	3406	2362	2999
6	Объем ВДХР	куб.км	15,10	14,52	12,32	14,82	11,83	18,03	13,98	19,34	14,21	15,75
7	Выработка э/э	млн.кВт.ч	3394,31	1947,25	2406,70	2296,22	1737,66	3005,27	2712,83	3374,29	2341,17	2970,35
№ п/п	Наименование	Ед. изм	1996		1997		1998		1999		2000	
			вег.	межвег	вег.	межвег	вег.	межвег	вег.	межвег	вег.	межвег
1	Приток	куб.км	10,94	2,958	8,09	2,58	11,5	2,393	11,01	3,545	9,186	3,392
2	Напор	м	146	152	134	133	142	173	150	137	150	145
3	Объем ВДХР	куб.км	10,4	15,2	9,8	11,8	7,3	15,1	10,3	16,3	11	13,422
4	Объем вып. воды	куб.км	6,23	8,36	6,08	7,116	3,68	7,961	5,07	8,817	6,479	8,373
5	Выработка э/э	млн.кВт.ч	2215	3096	1995	2309	1272	3353	1842	2938	2353	2939
6	Объем ВДХР	куб.км	10,27	15,11	9,80	11,81	7,26	15,12	9,53	16,24	11,03	13,71
7	Выработка э/э	млн.кВт.ч	2198,76	3071,76	1969,45	2287,84	1263,20	3329,29	1838,39	2919,97	2349,29	2934,85
№ п/п	Наименование	Ед. изм	2001									
			вег.	межвег								
1	Приток	куб.км	10,686	3,392								
2	Напор	м	80	125								
3	Объем ВДХР	куб.км	8,724	12,101								
4	Объем вып. воды	куб.км	10,564	8,373								
5	Выработка э/э	млн.кВт.ч	2005	2540								
6	Объем ВДХР	куб.км	8,44	8,85								
7	Выработка э/э	млн.кВт.ч	2042,94	2530,05								

Таблица 2. Фактические данные и данные моделирования по Токтогульскому водохранилищу за 2000-2001 гг.

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм	2000г											
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1.	Приток	куб.км	0,483	0,448	0,512	0,733	2,282	2,018	1,859	1,408	0,886	0,773	0,682	0,537
2.	Объем ВДХР	куб.км	14,534	13,215	11,970	11,000	10,874	12,202	13,052	13,377	13,422	13,706	13,448	12,912
3.	Напор ГЭС	м	156,4	150,5	145,1	140,7	141,5	146,4	151,1	151,5	152,4	153,2	150,7	148,9
4.	Расход воды в т.ч. ч-з ГЭС	куб.км	1,802	1,693	1,482	0,858	0,953	1,169	1,534	1,364	0,602	1,031	1,217	1,471
5.	Выработка	млн.кВтч	689,276	628,323	522,223	294,481	330,533	422,090	572,355	510,440	223,493	387,634	453,767	545,342
6.	Объем ВДХР	куб.км	14,500	13,030	11,620	10,830	11,150	11,900	12,800	13,160	13,620	13,230	13,000	12,760
7.	Выработка	млн.кВтч	681,285	658,291	519,820	301,550	325,977	427,497	560,309	499,533	229,171	381,817	458,123	529,474
2001г														
№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм	2001г											
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1.	Приток	куб.км	0,453	0,424	0,523	0,883	2,125	2,411	1,554	1,384	0,930	0,694	0,640	0,517
2.	Объем ВДХР	куб.км	11,979	10,779	9,547	8,724	8,716	10,183	11,579	11,690	11,880	12,101	11,943	11,566
3.	Напор ГЭС	м	145,0	139,8	133,4	130,2	130,5	138,3	145,0	144,4	146,4	146,5	145,6	143,8
4.	Расход воды в т.ч. ч-з ГЭС	куб.км	1,653	1,655	1,346	0,891	0,657	1,015	1,443	1,194	0,710	0,852	1,017	1,658
5.	Выработка	млн.кВтч	564,963	555,534	431,362	276,952	211,165	346,929	505,682	417,362	247,095	301,235	357,253	571,193
6.	Объем ВДХР	куб.км	12,200	10,380	9,370	8,920	8,540	10,310	11,280	11,440	11,620	12,300	11,710	11,690
7.	Выработка	млн.кВтч	579,400	619,222	434,049	289,779	207,259	350,644	505,792	416,782	259,643	301,727	369,880	576,343



## **Разработка алгоритмов и программ решения отдельных задач ирригационно-энергетических режимов реки**

Сравнив полученные расчетные данные электроэнергии, выработанной на Токтогульском водохранилище по зависимости

$$\mathcal{E}^k = 9.81 \eta H^k Q^k$$

и объема водохранилища, рассчитанного по формуле (6), и с фактическим (погрешность расчета оказалась незначительной), на основе имитационного моделирования, с учетом разработанных критериев, были разработаны алгоритмы и программа расчета ирригационно-энергетического режима для бассейна реки на современном компьютерном языке GAMS. Полученная программа позволяет найти заданный режим работы бассейна любой реки.

В таблицах 1 и 2 приведены сравнения полученных результатов моделирования с фактическими данными, показывающие отклонения результатов моделирования от фактических, из которых видно, что погрешность расчетов небольшая (2-3%). Следовательно, на основании заданного критерия с помощью математического моделирования можно рассчитывать любые задачи ирригационно-энергетического режима бассейна любой реки.

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЯМИ (SCADA) НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДОТОКАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ)**

**И. Бегимов**

**САНИИРИ им. В.Д. Журина**

В настоящее время на водохозяйственных объектах центрально-азиатского региона при поддержке международных финансовых организаций внедряются современные системы автоматизации гидротехнических сооружений, так называемые система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – диспетчерский контроль и сбор данных).

Системы SCADA, установленные на трансграничных водотоках Центральной Азии:

- Система SCADA головного сооружения межгосударственного канала Дустлик, разработанная фирмой UMA Engineering Ltd. (Канада), на базе программируемых контроллеров фирмы MODICON.
- Система диспетчеризации и автоматизации головного сооружения Южно-голландского канала, разработанной МП «Сигма» (Кыргызская Республика), на базе программируемых (DEP) контроллеров.
- Системы автоматизированного управления и контроля перегораживающих сооружений Южно-голландского канала, разработанной фирмой 'BRL' (Франция), на базе программируемых контроллеров Moscad.
- Система автоматизации и диспетчеризации Верхнечирчикского гидроузла (ВЧГУ) на базе контроллеров DECONT.
- Система автоматизации и диспетчеризации Учкурганского гидроузла (ВЧГУ) на базе контроллеров DECONT и др.

Эти системы выполняют, в зависимости от их назначения, различные функции автоматизации гидротехнических сооружений, основаны на различных технических средствах и стоимость этих систем тоже разная. Поэтому сравнительная опытная эксплуатация современных систем автоматического управления и контроля необходима для оценки их эффективности использования в наших водохозяйственных объектах с точки зрения надежности, точности, затрат и экономии водных ресурсов, также для их технического обслуживания в процессе производственной эксплуатации и целенаправленного выбора политики в области автоматизации гидротехнических сооружений и информационных систем управления водными ресурсами в объектах центральноазиатских стран.

- **Автоматизированная система контроля и управления SCADA головного сооружения межгосударственного канала Дустлик (рис. 1-2).**